

ELEKTRODEKOLORISASI ZAT WARNA REMAZOL VIOLET 5R MENGUNAKAN ELEKTRODA GRAFIT

Karmanto^{1*} dan Riana Sulistya²

^{1,2} Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
* Keperluan korespondensi, email: karmanto45@gmail.com

ABSTRACT

Research of decolorization technique development with electrolysis method used graphite electrodes and Na₂SO₄ as the electrolyte solution has been done. This study was conducted to assess the capabilities of graphite electrodes in electrodecolorizer cell and the adding effect of Na₂SO₄ in remazol violet 5R dyes decolorization. the assessment on electrodecolorizer cell performance had been done by electrolyzing 50 ml solution of remazol violet 5R, at 5 V of voltage in the Na₂SO₄ electrolyte solution. The electrolysis had been done based on the variation of the contact time, up to 120 minutes. On the other hand, study on the adding effect of the Na₂SO₄ salt solution had been done by the absorbance measuring of the remazol violet 5R dye remained in the solution, as the result of electrolysis process in the various concentrations of Na₂SO₄: 0.025 ; 0.05, 0.1, 0.5 and 1 M.

The result shows that electrolysis using graphite electrode on the elektrodecolorization process of the remazol violet 5R dye, has dye digression capability up to 83% for 90 minutes without precipitate forming. The elektrodecolorization kinetics reaction of the violet Remazol-5R dye, appropriate to the first order reaction kinetics equation with a coefficient of reaction rate 0.017 ppm/minute. While the variation of the salt concentration in electrolysis process, showing that the percentage of the remazol violet 5R dye degraded increased along with the amount of Na₂SO₄ concentrations used. Based on UV-Vis spectrophotometry analysis, there is no absorption spectra observed at a wavelength of 200-700 nm in the violet Remazol-5R dye solution after electrolysis process. It means that the chromophore group of the remazol violet 5R, had been degraded.

Keywords: electrodecolorization, electrolyte, remazol violet 5R

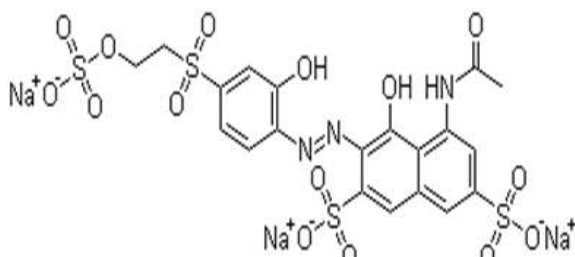
A. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan industri tekstil tanah air, penggunaan zat warna sintetis juga

terus meningkat. Peningkatan penggunaan zat warna sintetis dalam industri tekstil

nasional belum diikuti dengan peningkatan kualitas sarana pengolahan limbah cair yang memadai, terutama pada sektor Industri Kecil dan Menengah (IKM). Industri skala kecil menengah di bidang tekstil, biasanya masih dikelola secara sederhana. Latar belakang pendidikan serta kebiasaan hidup masyarakat menjadi salah satu faktor belum terpenuhinya kualitas standar pengolahan terhadap limbah zat warna yang dihasilkan.

Salah satu jenis zat warna sintetik yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah zat warna remazol. Zat warna remazol violet 5R merupakan zat warna reaktif dari golongan azo. Molekul remazol violet 5R ($C_{20}H_{16}N_3O_{15}S_4Na$) dengan massa molekul relatif 735.58 g/mol memiliki gugus asetilamin, hidroksi, sulfonat, dan azo.



Gambar A.1 Struktur Molekul Remazol violet 5R

Zat warna remazol banyak digunakan karena sifatnya yang mudah larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa (Pavlostathis, 2001). Qodri (2011) juga menambahkan, bahwa sebagian besar zat warna sengaja dibuat supaya mempunyai ketahanan terhadap pengaruh lingkungan seperti efek pH, suhu dan mikroba.

Ketahanan senyawa remazol violet 5R terhadap perubahan pH, suhu dan mikroba, menjadikan remazol sebagai bahan kimia sintesis yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dilakukan pengelolaan dan pengolahan secara komprehensif. Air

limbah zat warna remazol dapat mengakibatkan beberapa gangguan kesehatan, dari penyakit kulit ringan hingga kanker kulit (Sugiharto, 1987).

Upaya pengolahan limbah zat warna secara konvensional seperti koagulasi maupun penggunaan lumpur aktif telah banyak dilakukan, akan tetapi hasil yang didapatkan masih kurang efektif. Metode koagulasi kurang efektif karena menghasilkan lumpur (*sludge*) dalam jumlah yang relatif besar setelah proses. Hal ini menjadi permasalahan baru bagi sistem pengolahan limbah tekstil. Di sisi lain, pengolahan secara biologis seperti penggunaan lumpur aktif juga kurang efektif karena diperlukan waktu yang cukup lama serta diketahui beberapa jenis limbah zat warna memiliki sifat resisten untuk didegradasi secara biologis (Elias, dkk, 2001).

Alternatif lain pengolahan limbah zat warna adalah dengan metode elektrolisis, yang dikenal dengan istilah electrode-kolorisasi. Dalam teknologi pengolahan limbah cair zat warna dengan metode elektrolisis, elektroda merupakan kunci sukses untuk dapat meramalkan reaksi apa yang akan terjadi. Reaksi elektrolisis dapat berupa *electrooxidation* (destruktif), *electrocoagulation*, dan *electrofloatation* (Fadhil, 2011). Senyawa organik seperti zat warna dapat dioksidasi secara elektrokimia atau disebut sebagai elektrooksidasi (elektrodestruksi) menjadi H_2O dan CO_2 serta senyawa karbon rantai pendek atau aromatik yang tidak mempunyai gugus kromofor. Elektrooksidasi dapat melalui dua mekanisme, yaitu *direct oxidation mechanism* maupun *indirect oxidation mechanism* (Miled *et al.*, 2010). Li-Choung Chan *et al.*, (1995) dalam Miled (2010) menjelaskan, pada mekanisme *direct*

oxidation, pertama kali polutan diadsorb pada permukaan dan dihancurkan (degradasi) akibat transfer elektron yang terjadi di anoda. Tingkat oksidasi pada *direct oxidation* bergantung pada aktivitas katalitik anoda, tingkat difusi dari senyawa organik dalam titik aktif anoda serta intensitas arus yang digunakan.

Elektrooksidasi polutan secara *indirect*, telah teruji sebagai metode paling efisien untuk dekolourisasi dan mineralisasi, dapat berlangsung dengan adanya klorida, *ferric* atau perak. Tingkat oksidasi pada *indirect oxidation* bergantung pada tingkat difusi dari senyawa oksidator yang terbentuk akibat proses elektrolisis menjadi larutan yang dapat secara lengkap mengubah semua senyawa organik menjadi air dan karbon dioksida (Miled *et al.*, 2010). Skema kedua mekanisme tersebut dapat dilihat pada Gambar A.2.

Kajian pengembangan teknologi elektrokolorisasi dilakukan bagi upaya meningkatkan efektifitas dan efisiensi pengolahan limbah zat warna tekstil, seperti senyawa remazol dan variannya, dengan biaya yang murah, cepat dan tanpa menghasilkan limbah baru. Teknologi elektrokolorisasi, dengan prinsip elektrolisa merupakan salah satu metode penanganan limbah zat warna yang sangat potensial

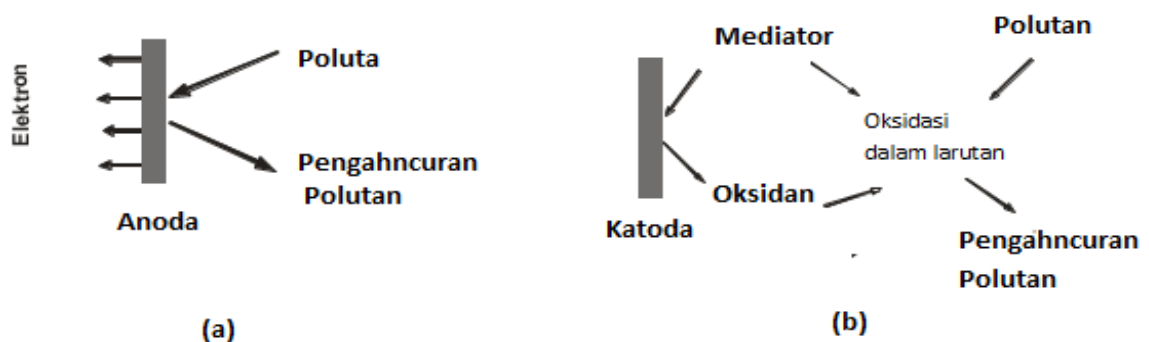
untuk dikembangkan. Melalui mekanisme reaksi reduksi dan oksidasi pada sistem sel elektrolisa menggunakan larutan elektrolit, teknologi elektrokolorisasi diharapkan mampu medegradasi senyawa zat warna remazol secara efisien tanpa menimbulkan persoalan baru sebagaimana metode adsorpsi, maupun sludge aktif pada umumnya.

B. METODE PENELITIAN

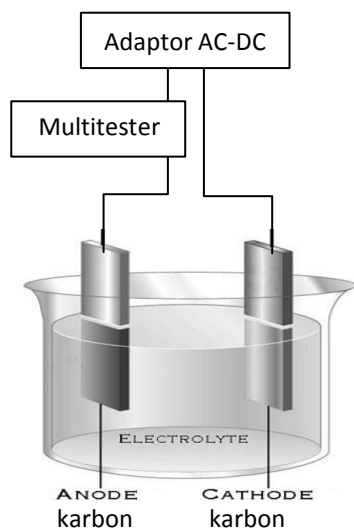
Secara garis besar ada tiga tahapan kerja dalam penelitian elektrokolorisasi zat warna remazol ini, yakni: Preparasi alat; elektrokolorisasi zat warna remazol; dan analisis spektra gugus kromofor menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

1. Preparasi alat

Rangkaian Alat elektrolisis disusun dari beberapa komponen penting, yakni: sepasang elektroda karbon, *power supply* berupa adaptor AC-DC, wadah elektrolisis, serta komponen pendukung lainnya. Jarak antar elektroda adalah 1 cm sedangkan tegangan yang digunakan bervariasi antara 1,5 - 12 volt. Secara keseluruhan, rangkaian alat elektrokolorisasi dapat dilihat pada Gambar B.1.



Gambar A.2 Mekanisme elektrooksidasi, (a) direct oxidation; (b) indirect oxidation



Gambar B.1 Rangkaian alat elektrodekolorisasi

B.2 Elektrodekolorisasi zat warna *remazol*

a. Penentuan waktu optimum elektrolisis

Waktu optimum elektrolisis zat warna *remazol* dilakukan dengan cara memvariasikan waktu elektrolisis. Variasi waktu yang digunakan adalah 0 menit sampai 120 menit dengan kelipatan 5 menit. Elektrolisis dilakukan sesuai dengan rangkaian alat elektrolisis. Sejumlah larutan disiapkan dengan mengambil 10 mL larutan *remazol violet 5R* 500 ppm lalu ditambahkan garam Na_2SO_4 sebanyak 0,71 g atau sebesar 0,1 M. Larutan tersebut diencerkan pada labu 50 mL sampai batas dan kemudian dielektrolisis pada variasi waktu. Larutan hasil elektrolisis kemudian dihitung konsentrasinya menggunakan metode adisi standar tunggal. Dari data hasil percobaan dibuat kurva hubungan antara % dekolorisasi zat warna dengan waktu elektrolisis, yang kemudian didapatkan waktu optimum elektrolisis.

b. Pengaruh penambahan garam Na_2SO_4

Pengkajian mengenai pengaruh penambahan garam Na_2SO_4 dilakukan dengan cara memvariasikan jumlah Na_2SO_4 yang digunakan dalam elektrodekolorisasi zat warna *remazol*. Variasi garam Na_2SO_4 yang digunakan adalah 0,025; 0,05; 0,1; 0,5 dan 1 M. Elektrolisis dilakukan sesuai dengan rangkaian alat elektrolisis seperti yang telah dirangkai sebelumnya. Sejumlah larutan disiapkan dengan mengambil 10 mL larutan *remazol* 500 ppm lalu ditambahkan garam Na_2SO_4 pada berbagai variasi. Larutan tersebut selanjutnya diencerkan pada labu 50 mL sampai batas dan kemudian dielektrolisis pada waktu optimum. Larutan hasil elektrolisis kemudian dihitung konsentrasinya menggunakan metode adisi standar tunggal.

B.3 Analisis spektrofotometri UV-Visible

Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan pada larutan *remazol violet 5R* sebelum dan sesudah elektrolisis. Larutan *remazol violet 5R* yang akan dielektrolisis disiapkan dengan mengambil 10 mL larutan *remazol violet 5R* 500 ppm kemudian ditambahkan garam Na_2SO_4 sebanyak 0,71 g atau sebesar 0,1 M. Larutan tersebut diencerkan pada labu 50 mL sampai batas dan selanjutnya dielektrolisis pada waktu 150 menit. Selain itu, dibuat juga larutan yang serupa tanpa perlakuan elektrolisis. Elektrolisis dilakukan sesuai dengan rangkaian alat elektrolisis. Kedua larutan tersebut kemudian

diencerkan setengahnya dan diukur absorbansi menggunakan Spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 200 sampai 700 nm.

C. Hasil dan Pembahasan

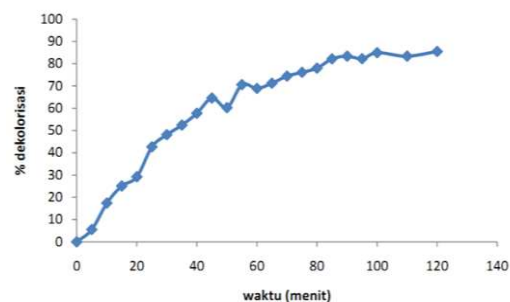
C.1 Elektrodekolorisasi Zat Warna

Remazol violet 5R

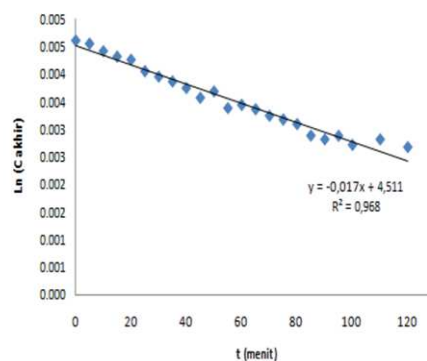
C.1.a Penentuan waktu optimum elektrolisis

Penentuan waktu elektrolisis dimaksudkan untuk mengetahui waktu optimum elektrodekolorisasi zat warna remazol violet 5R, serta kinetika reaksinya. Data hasil elektrolisis *remazol violet 5R* pada variasi waktu 0 – 120 menit ditunjukkan pada Gambar C.1. Berdasarkan Gambar C.1. tersebut terlihat jelas bahwa semakin lama waktu elektrolisis semakin besar pula zat warna yang terdecolorisasi. Akan tetapi setelah mencapai waktu 90 menit, kemampuan decolorisasi menurun dan relatif konstan pada 83%. Dekolorisasi belum mencapai 100%, kemungkinan besar dikarenakan adanya pengaruh warna larutan sisa hasil elektrolisis yang berwarna bening keabu-abuan, dapat dilihat pada Gambar C.5. Warna tersebut muncul akibat rontoknya sebagian permukaan elektroda karbon selama elektrolisis. Akibatnya, pengukuran absorbansi terhadap larutan hasil elektrolisis tetap memberikan serapan walaupun telah mencapai keadaan konstan. Hal ini juga dibuktikan melalui hasil analisa spektrofotometri UV-Vis yang membuktikan bahwa tidak ada puncak serapan yang sama pada area *Visible*. Berdasarkan data hasil pengamatan, diambil waktu optimum

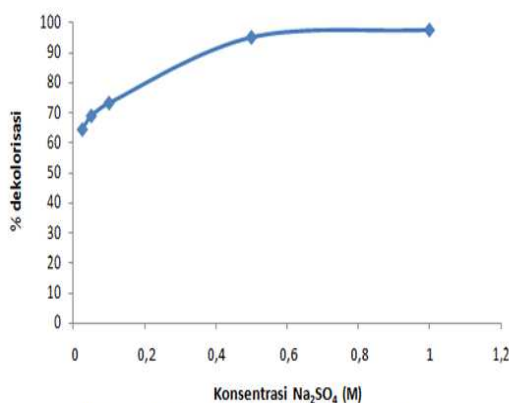
elektrolisis pada waktu 90 menit.



Gambar C.1 Grafik hubungan % decolorisasi terhadap waktu elektrolisis



Gambar C.2 Grafik kinetika reaksi orde satu pada elektrodekolorisasi *remazol violet 5R*



Gambar C.3 Grafik hubungan % decolorisasi dan konsentrasi Na₂SO₄ pada elektrodekolorisasi *remazol violet 5R*

Penentuan orde reaksi pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui koefisien laju reaksi yang terjadi pada elektrodekolorisasi *remazol violet 5R*. penentuan orde reaksi ini dilakukan dengan membandingkan harga koefisien korelasi (R^2) dari persamaan regresi linier yang diperoleh dari setiap orde reaksi. Berdasarkan data hasil pengamatan, reaksi elektrodekolorisasi zat warna *remazol*

violet 5R mengikuti orde pertama. Walaupun tidak menutup kemungkinan berorde dua, mengingat harga R^2 yang hampir tidak berbeda jauh. Hasil kinetika reaksi dekolorisasi menunjukkan tingkat kecepatan dekolorisasi zat warna selama waktu elektrolisis. Berdasarkan tabel di atas, reaksi dekolorisasi zat warna *remazol violet 5R* mengikuti persamaan reaksi orde pertama dengan harga R^2 sebesar 0,968. Profil persamaan reaksi orde pertama grafik plot $\ln(C \text{ akhir})$ lawan t (waktu) elektrolisis zat warna *remazol violet 5R* di tampilkan pada Gambar C.2. Grafik tersebut adalah linear dengan slope $(-k)$ sebesar $-0,017$. Oleh karena itu, harga konstanta laju reaksi (k) dari elektrokolorisasi zat warna *remazol violet 5R* adalah $0,017 \text{ ppm.menit}^{-1}$.

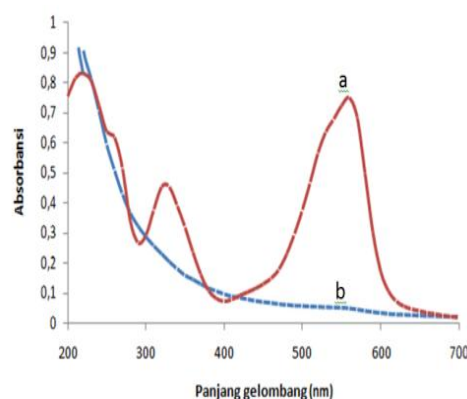
C.2. Pengaruh penambahan garam Na_2SO_4

Pengaruh penambahan garam Na_2SO_4 dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari Na_2SO_4 yang digunakan sebagai elektrolit pada elektrokolorisasi zat warna *remazol violet 5R*. Berikut data hasil elektrolisis *remazol violet 5R* pada variasi konsentrasi garam Na_2SO_4 . Pada Gambar C.3 terlihat bahwa, elektrokolorisasi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi garam yang diberikan dan cenderung konstan pada konsentrasi 0,5 M. Seperti yang telah diketahui, bahwa daya hantar listrik suatu larutan bergantung pada jenis dan konsentrasi ion di dalam larutan tersebut. Garam Na_2SO_4 merupakan elektrolit kuat yang dapat terdisosiasi secara sempurna dalam larutan menjadi ion-ion Na^+ dan SO_4^{2-} . Oleh karena itu, semakin besar konsentrasi Na_2SO_4 semakin besar pula

arus yang mengalir pada larutan. Sehingga menyebabkan persentase dekolorisasi zat warna juga semakin besar.

C.3 Analisis Spektrofotometri UV-Visible

Analisis larutan hasil elektrolisis menggunakan Spektrofotometri UV-Vis ini dimaksudkan untuk mengkonfirmasi secara kualitatif mengenai reaksi yang terjadi pada elektrokolorisasi zat warna *remazol violet 5R*. Selain itu juga untuk menguatkan kinetika reaksi yang telah disimpulkan pada kajian kinetika reaksi elektrokolorisasi zat warna *remazol violet 5R*.



Gambar C.4 Spektra UV-Vis *remazol violet 5R* sebelum (a) dan sesudah (b) elektrolisis selama 150 menit

Analisa UV-Vis dilakukan dengan membandingkan hasil absorbansi antara zat warna *remazol violet 5R* sebelum dan sesudah elektrolisis. Berikut hasil pengukuran Spektrofotometri UV-Vis ditampilkan pada Gambar C.4. Dari spektra UV-Vis Gambar C.4, terlihat bahwa sebelum larutan *remazol violet 5R* dielektrolisis, terdapat puncak serapan di area *Visible* pada panjang gelombang 559 nm akibat gugus kromofor (pemberi warna). Selain itu terdapat pula puncak serapan di area UV pada panjang

gelombang 325 nm yang merupakan sistem benzena terkonjugasi dan 204 nm yang merupakan sistem benzena yang tidak terkonjugasi. Setelah proses elektrolisis selama 150 menit dengan tegangan 5 volt menggunakan elektroda karbon (grafit), spektra UV-Vis pada larutan tersebut tidak menunjukkan adanya puncak serapan pada area *Visible* atau tampak. Akan tetapi, terbentuk serapan yang sangat kuat sekitar panjang gelombang 200 nm. Serapan tersebut diperkirakan merupakan transisi $\pi-\pi^*$ senyawa karbon rantai pendek hasil dari degradasi *remazol violet 5R* (Creeswell, 2005).

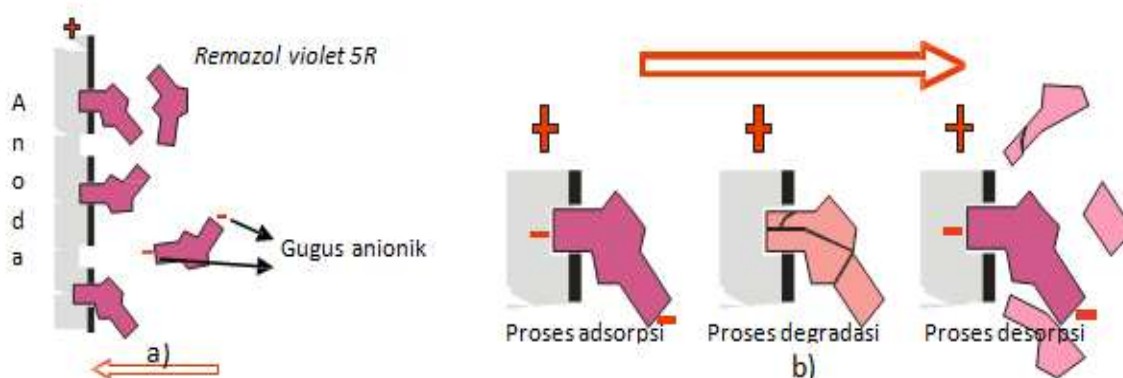
Data spektra serapan Gambar C.4,

telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar C.5 Warna *remazol violet 5R* sebelum dan sesudah elektrolisis selama 150 menit

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, reaksi elektrokolorisasi zat warna mengikuti persamaan kinetika orde pertama. Selain itu



Gambar C.6 a) Ilustrasi adsorpsi *remazol violet 5R* pada permukaan anoda, b) Ilustrasi proses elektrokolorisasi *remazol violet 5R* pada permukaan anoda

mengindikasikan bahwa zat warna terdegradasi menjadi senyawa karbon rantai pendek yang tidak memberikan serapan pada area sinar tampak. Perubahan warna sampel yang terjadi sebelum dan sesudah elektrokolorisasi ditampilkan pada Gambar C.5. Dari gambar C.5 terlihat bahwa warna larutan *remazol violet 5R* setelah dielektrolisis dari ungu menjadi bening keabu-abuan. Hal ini akibat dari rontoknya karbon selama proses elektrolisis seperti yang

bedasarkan analisa UV-Vis terhadap larutan sisa hasil elektrokisis, zat warna telah terdegradasi menjadi senyawa karbon rantai pendek yang tidak memberikan serapan pada area sinar tampak. Oleh karena itu, proses elektrokolorisasi zat warna *remazol violet 5R* kemungkinan besar terjadi seperti pada ilustrasi skema Gambar C.6. Sebagaimana mekanisme oksidasi secara *direct oxidation* yang telah disampaikan Li-Choung Chan *et al.*, (1995) dalam Miled (2010 ilustrasi),

Gambar C.6 di atas, menjelaskan bahwa proses dekolorisasi *remazol violet 5R* terjadi pada permukaan anoda dimana pada permukaan ini terdapat situs-situs aktif yang bersifat spesifik. Molekul-molekul *remazol violet 5R* yang bersifat anionik akibat adanya gugus-gugus pemberi sifat anionik seperti $-\text{SO}_4^-$, $-\text{SO}_3^-$; pasangan elektron bebas; dan lainnya, akan bergerak ke arah anoda (kutub positif) dan kemudian teradsorb pada situs-situs aktif yang ada pada permukaan anoda tersebut. Situs-situs aktif ini mampu mengikat molekul *remazol violet 5R* secara elektrostatis. Molekul *remazol violet 5R* yang telah terikat pada permukaan akan mengalami degradasi akibat proses tranfer elektron yang terjadi pada anoda. Molekul *remazol violet 5R* yang telah terdegradasi, tidak memiliki lagi gugus-gugus pemberi muatan negatif (anionik) seperti $-\text{SO}_4^-$, $-\text{SO}_3^-$; dan gugus kromofor lainnya. Akibat dari hilangnya gugus-gugus pemberi sifat anionik ini, maka molekul-molekul *remazol violet 5R* yang awalnya teradsorb

akan terlepas atau terdesorpsi dan digantikan dengan molekul *remazol violet 5R* lain yang masih memiliki gugus anion.

D. Kesimpulan

1. Larutan zat warna *remazol violet 5R* dapat didekolorisasi dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda grafit sebesar 83 % dalam waktu 90 menit.
2. Reaksi elektrodekolorisasi zat warna *remazol violet 5R* menggunakan elektroda grafit mengikuti persamaan kinetika orde satu.
3. Semakin besar konsentrasi garam Na_2SO_4 semakin besar pula persentase dekolorisasi.
4. Analisa UV-Vis terhadap larutan hasil elektrolisis menunjukkan bahwa gugus kromofor senyawa *remazol violet 5R* terdegradasi sehingga menjadi tak berwarna.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M. Natsir. 2001. *Kamus Kimia Arti dan Penjelasan Istilah*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Atkins, P.W. 1999. *Physical Chemistry*. 4th ed. Oxford: Oxford University Press. Badan Pusat Statistik. 2012. *Pertumbuhan Produksi Industri Manufaktur Triwulan*
- Creswell *et al.* 2005. *Analisis Spektrum Senyawa Organik*. Edisi tiga. Bandung: Penerbit ITB.
- Darmawan, Adi *et al.* 2006. Koagulasi Pewarna Indigo Karmina (Disodium-3,3'-dioxo-2,2'-bi-indolylidene-5,5'-disulfonat) Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Anoda Seng. *JSKA*. No.1. Vol.IX.
- Day and Underwood. 1999. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Kelima. Diterjemahkan: Aloysius H. P. Ph.D. Jakarta: Erlangga.
- Elias, Md.S., *et al.* 2001. Penyingkiran Fenol terlarut dalam air melalui fotodegradasi menggunakan Titanium Dioksida (TiO_2). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. Vol. 7. No. 1, 1-6.
- Fadhil, Baseem H. and Ghalib, Atheer M. 2011. Electrochemical Decolorization Of Direct Black Textile Dye Wastewater. *Journal of Engineering*. No. 3. Vol. 17. June 2011
- Heaton, Alan. 1994. *The Chemical Industri*. Second edition. Blackie Academic and Profesional. Chapman & Hal London.
- Kuwatno *et al.* 2007. Elektrodekolorisasi indigo karmin menggunakan Alumina dan karbon bekas, *JSKA*. No.3. Vol.X.
- Manurung, R., Rosdanelli H., dan Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. USU: Medan.

-
- Miled, W., *et al.* 2010. Decolorization of High Polluted Textile Wastewater by Indirect Electrochemical Oxidation Process. *J.TATM*. Vol. 6. Issue 3.
- Pavlostathis, G. 2001. *Biological Decolorization and Reuse of Spent Reactive Dye baths*, Annual Report FY 01.
- Qodri, A.A. 2011. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. Skripsi. FMIPA. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Saito, Taro. 2004. Buku Teks Kimia Anorganik Online. Kanagawa University Tokyo.
- Sastrohamidjojo, H. 2007. Spektroskopi. Edisi ketiga. Yogyakarta: Liberty.
- Sitorus, M. 2009. Spektroskopi. Edisi pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugiharto. 1987. Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah. Universitas Indonesia. Jakarta.